

悬臂式抗滑桩设计参数对其工作性能的影响分析

刘春茂¹, 董捷², 边成鑫³

(1. 重庆大学建筑设计研究院, 重庆 400045; 2. 重庆大学土木工程学院, 重庆 400045 3. 重庆北部土地整治有限责任公司 400023)

摘要:针对当前悬臂式抗滑桩设计计算的流程,结合地基系数法和有限单元法,以改变设计参数为研究手段,重点分析了桩截面类型、桩截面几何尺寸、桩间距、锚固段岩土体强度和嵌入深度对悬臂式抗滑桩工作性能的影响。探讨了几个重要设计参数选取与悬臂式抗滑桩支护效果之间的关系,提出了悬臂式抗滑桩设计时应遵循的几个重要原则。

关键词:悬臂式抗滑桩;设计参数;地基系数法;有限单元法;锚固段

中图分类号:TU443

文献标志码:A

文章编号:1006-7329(2008)02-0066-05

Impact Analysis on Design Parameters about Service Behavior of Cantilever Anti-slide Piles

LIU Chun-mao¹, DONG Jie², BIAN Cheng-xin³

(1. Architectural Design and Research Institute, Chongqing University, Chongqing 400045, China; 2. College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China 3. Chongqing North Land Exploitation Co., Ltd. 400023, China)

Abstract: Directing toward the flow design of cantilever anti-slide piles, the thesis which is based on foundation coefficient method and finite element method mainly analyzes service behavior influences by changing several design parameters, such as cross-section type, cross-section size, range interval, strength of rock mass in anchorage zone, bedded length, and so on. The relations between the design parameter access and the supporting performance of cantilever anti-slide piles are also discussed in this article. Finally, the thesis presents the recommendations and the regularity which should be followed to the design of cantilever anti-slide piles.

Key words: cantilever anti-slide pile; design parameter; foundation coefficient method; finite element method; anchorage zone

在我国西南山区,抗滑桩作为一种岩土支护结构广泛应用于滑坡治理、路堑边坡防护及基坑支护等重大工程。通常,抗滑桩设计首先须对坡体地质条件进行勘察,计算设桩处的滑坡推力,在此基础上拟定抗滑桩的平面、立面布置方式及桩截面尺寸,并根据所允许最大桩身偏移量设计所需锚固深度,计算截面配筋,最后对锚固段岩体的极限应力进行验算^[1]。一些学者致力于改进其算法,取得了一定的成果^[1,2]。部分专家、学者在抗滑桩优化设计方面作了一定的工作^[3,4],王乾坤、周德培等结合土拱理论及土体强度理论建立了合理桩间距取值的计算方法^[5,6]。随着计算机技术的不断

发展,数值模拟为研究抗滑桩与土体相互作用提供了先进的手段,C.-Y. Chen 和 G. R. Martin. 运用有限差分法研究了滑坡支挡中土一桩的相互作用,阐述了自己的观点^[7]。吴汉辉、杨明等结合抗滑桩模型试验及数值模拟对抗滑桩桩间距及桩宽等设计参数进行了较为系统的研究^[8,9]。

上述研究成果无疑丰富了抗滑桩的设计计算理论,加深了对抗滑桩工作机理的认识,值得肯定。目前,关于桩型选择及锚固深度对悬臂式抗滑桩配筋及偏移量的影响的研究相对较少,由于桩型、截面尺寸及锚固深度往往直接控制工程造价,倘若设计人员对悬

* 收稿日期:2007-10-21

作者简介:刘春茂(1971-),男,国家一级注册结构工程师,硕士,主要从事建筑结构设计及研究,(E-mail)ly771111@126.com。

臂式抗滑桩几个关键设计参数与抗滑桩受力及支护效果之间关系认识深度不够,实际工程中易造成相对计算方法本身误差更为严重的后果,如桩顶位移过大、桩身最大内力作用点位置判断不清、内力最大值计算不准等问题。因此,进一步深入了解几个关键设计参数对支护结构产生的影响就显得尤为重要。本文运用地基系数法和有限单元法为理论基础,分析了桩型等几个重要设计参数对于桩身变形、内力和岩土抗力等方面的影响,希望能够对悬臂式抗滑桩的设计和选型提供一定的帮助。

1 桩型及尺寸的选择

1.1 矩形截面桩与圆形截面桩的比较

抗滑桩优化设计的主要目的在于增强抗滑桩的支护效果和尽可能地降低工程造价。支护效果主要体现在桩顶位移和滑体的稳定性方面,而工程造价主要取决于单位支护范围的桩孔开挖工程量、钢筋工程量、混凝土浇注工程量和护壁工程量(岩性较好可不考虑)。为了分析桩截面几何形状与桩体工作性能和工程造价的关系,可假定开挖工程量、混凝土浇注工程量

和护壁工程量均相同,据此来分析矩形截面抗滑桩与圆形截面抗滑桩工作性能和所需的钢筋工程量。为使得分析结果更具说服力,采用两组计算模型:第一组,采用 1.0 m×1.3 m 的矩形桩和 1.2 m 桩径的圆桩;第二组,采用 1.3 m×1.5 m 的矩形桩和 1.5 m 桩径的圆桩。即每组的桩孔开挖工程量、混凝土浇注工程量就基本相同。抗滑桩长均为 16 m,嵌入深度 6 m,地基侧向抗力系数 200 MN/m³,受荷段桩体悬臂支护,滑坡推力 300 kN/m,且假定为矩形分布。按照地基系数法^[1],4 种不同截面悬臂式抗滑桩的桩身位移如图 1 所示,锚固段岩体抗力分布如图 2 所示,各截面所需纵筋数量,见图 3。

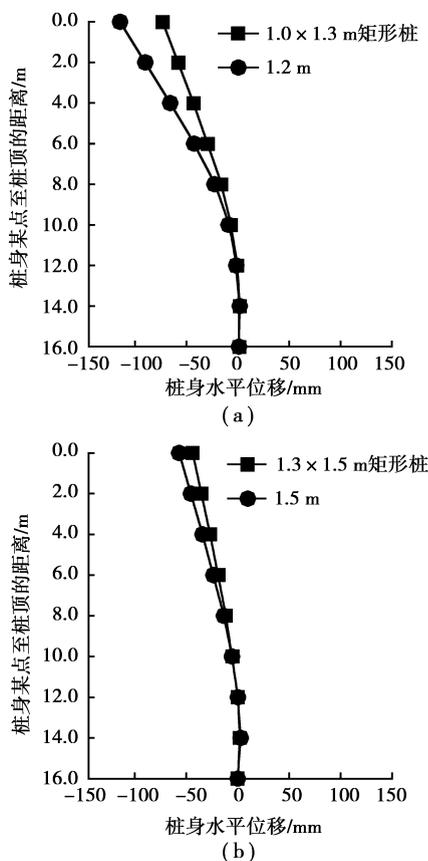


图 1 桩身水平位移曲线

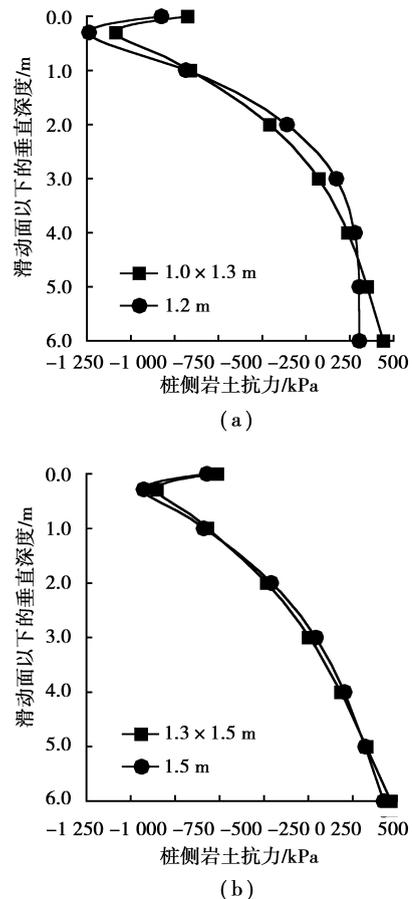


图 2 锚固段桩侧岩体抗力

对比发现:(1)在截面积相差不大的情况下,用矩形截面抗滑桩的桩顶位移相对较小,支护效果较好,与实际工程情况吻合;(2)圆形截面桩在滑动面附近的岩体中产生的岩体抗力相对矩形截面桩较大,且应力集中现象较明显,通常锚固段岩体为软岩,如强风化泥岩、页岩等,应避免采用圆形截面抗滑桩,同时须按照该处的应力状态来检验锚固段强度是否满足要求^[1],

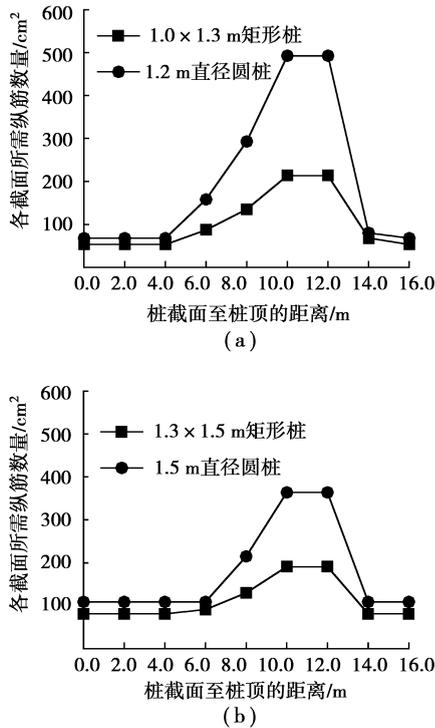


图3 两组桩截面配筋曲线

这一规律与有限元模拟得到的结论较吻合。(3)矩形桩因其截面抗弯惯性矩相对较大,且纵向钢筋加强区范围较大,可以在一定程度上减少桩身纵向钢筋的需求,与工程设计经验相吻合。据此,一般情况下应优先选用矩形截面抗滑桩,这样不仅可以提高支护效果,同时还可以有效的降低工程造价。然而,圆形截面抗滑桩在某些情况下也具有一定的优越性,主要表现在工期较短,其横向抵抗力分布均匀,因此,当横向荷载方向不易确定的情况下,也可以适当考虑圆形截面桩。

1.2 截面尺寸与桩间距的选择

抗滑桩经计算发现,桩截面尺寸大小对抗滑桩的影响主要表现在如下几个方面:(1)小截面桩滑面下弯矩随深度增大而递减较快,最大负剪力随深度的增加递减较快,并在一定深度达到较大的正剪力,且桩顶水平位移相对较大,这是因为桩身的挠曲变形相对较大,再就是锚固力相对较小而产生的刚性转动造成的。(2)抗滑桩锚固段前方的压应力也在一定程度上受桩身截面尺寸的控制。(3)桩身钢筋的布置也受截面尺寸的制约,在满足构造要求的前提下,拟定合理的界面尺寸,不仅可以保障桩身的抗弯性能,还降低了工程造价。

抗滑桩间距的选择也是一个重要指标,抗滑桩间距过大,会造成单桩所受荷载增大,对桩间的岩土体起不到支挡的作用,产生支挡失效;桩间距过小,将使工程投资过大。本文通过对几组单位支护范围相当、开挖工程量相同的抗滑桩进行试算,认为对于桩周为强风化岩体或松散岩土体,则应采用相对较小的桩截面和较小的桩间距以达到支护效果。对于合理桩间距的计算可按文献[5]、[6]推荐的方法计算。同时,由于空间拱效应^[10]的存在,在其他因素不变的条件下,悬臂桩间距随桩后岩土体抗剪强度的增加而增大,随滑坡推力的增加而减少,与试验结果所反应出的规律较一致^[8]。

2 锚固段岩体强度的影响

2.1 模型的建立

对悬臂式抗滑桩进行分析,多数学者建立了二维有限元分析模型,并通过折减抗滑桩的弹性模量和抗弯刚度反映桩间距的影响,并将问题简化为平面问题,这种方法对于分析桩与滑坡体的稳定性有一定的帮助,但对分析滑坡推力的传递机制却显不足。因此,本文建立了三维有限元分析模型,模型单元类型定义为实体单元,并考虑了锚固段岩体以及桩体受荷段土体工作时的非线性原理,对岩体和土体采用了 Drucker-Prager 屈服准则,并使用相关联流动准则,即考虑剪胀效应,抗滑桩假定为理想弹性材料。考虑岩体和土体之间以及桩与周围岩土体的接触关系。滑坡推力可通过对桩后滑体施加面力解决,并考虑重力荷载的影响。取桩间岩土体和抗滑桩的 1/2 部分进行计算,在对称边界施加对称约束,确保对称面不产生沿 x 方向的位移,控制对称边界上各点不发生沿 xOy 面和 zOx 面方向的转动,对距抗滑桩一定距离的基岩面施加固定约束,通过上述处理,有效地降低了计算时间,如图 4 所示。

2.2 锚固段岩体强度对桩内力和变形的影响

为研究锚固段岩体强度对抗滑桩内力和变形的影响,分别对四种岩体强度作了试算及有限元模拟,并保持抗滑桩的其它设计参数不变。对不同强度的锚固段岩体而言,桩、岩接触应力分布也存在一定的差异,如图 5 所示。不同强度锚固段岩体,采用数值模拟及弹

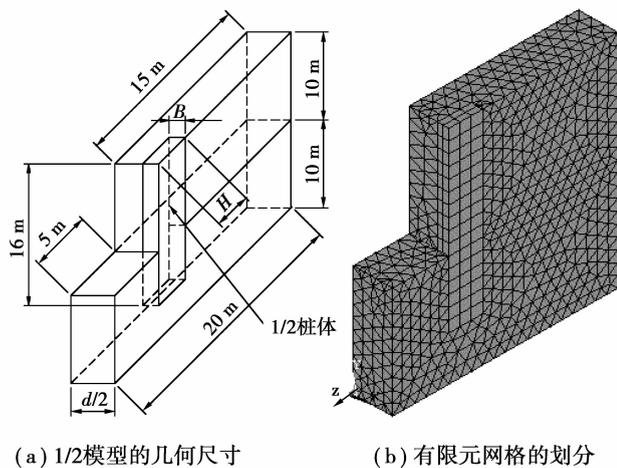


图 4 悬臂式抗滑桩有限元模型

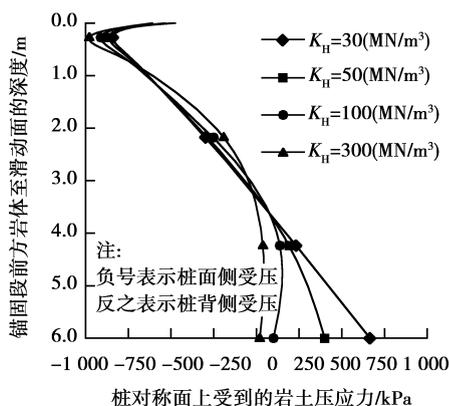


图 5 锚固段岩体的侧向抗力分布

性地基梁理论对不同锚固段岩体强度的悬臂式桩进行计算,结果发现:地侧纵向抗力系数 K_H 越大,即锚固段岩体强度高,桩顶的偏移量较小,滑面处的桩前岩体压应力就越大,且随深度递减速率较快,且其桩中下部背侧压应力就越小;锚固段岩体强度较小,其桩背侧岩土体压应力随深度呈线性增长的趋势十分明显。

悬臂式抗滑桩设计时,通常先拟定桩身的间距和截面尺寸,最后再试算所需的嵌岩深度。为分析不同锚固段岩体强度对设计嵌入深度的影响,可事先拟定需控制的桩顶偏移量,并以此为条件,通过有限元反算得到该计算模型满足三种桩顶偏移值时所需嵌入深度与锚固段岩体强度之间的关系曲线,如图 6 所示。若发生相同的桩顶位移,岩体强度越高,所需的嵌入深度就越小;在相同嵌入深度条件下,锚固段岩体强度越低,所产生的桩顶位移就越大。这一结论与工程实际规律较吻合。

同时计算发现,当滑坡推力不断增加时,桩前滑动面及其脚点附近的岩体逐渐进入塑性屈服状态,并将

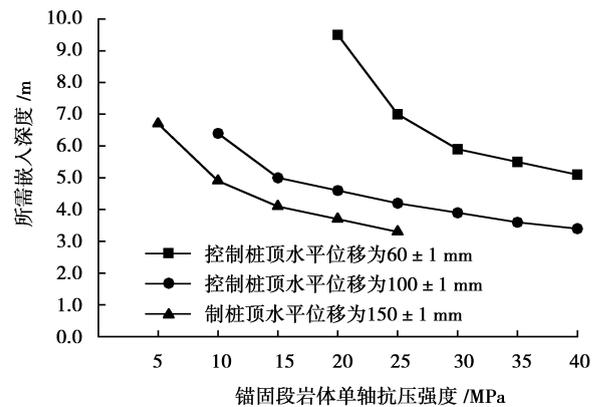


图 6 所需嵌入深度与锚固段岩体强度之间的关系

所承受的横向荷载传递到深部岩体中。当荷载增大到使锚固段顶部附近岩体达到极限强度时,由于受软弱结构面控制,锚固段上部一定深度岩体进入屈服破坏阶段,丧失承载能力,仅存在较低的残余强度。这时,桩前锚固段岩体的弹塑性受荷段向桩底部扩展,同时无挠曲变形段的深度也大为减少,使桩顶产生较大位移。所以,若对支挡结构变形有较严格要求时,增加抗滑桩的嵌入深度,同时设法提高锚固段岩体的侧向抵抗变形能力,如对锚固段岩土体注浆、设置钢管桩等措施可以大大减小桩顶的位移。

2.3 设计锚固深度的影响

通过对比分析,可得出如下几点规律:(1)嵌入深度不同并不影响滑动面以上桩身纵筋和箍筋的配置,而在滑动面以下,嵌入深度较大的抗滑桩,桩身箍筋及背侧纵筋需加强的范围相对较小;(2)嵌入岩体强度较大时,桩身锚固深度对于桩顶水平位移的影响并不明显,若嵌入段岩体风化程度较严重或是某些软岩(泥岩、页岩等),嵌入深度对于控制桩顶的偏移量具有重要作用,此时应适当增加锚固深度或在桩顶设置预应力锚索,减小桩身因锚固段岩体强度较低而发生的整体转动或移动现象;(3)嵌入深度较小时,桩前岩体的压应力增大,其分布范围往往覆盖整个锚固段岩体,在岩体内部造成的应力集中现象较为突出,应对其强度进行校核,避免出现因桩前锚固段岩体失稳而产生的抗滑桩整体倾覆;第四,当嵌入深度较小时,桩体滑面附近的拱效应更趋明显,且作用于桩背的滑坡推力分布形式显示出自梯形向三角形转化的趋势,即除了滑体性质影响滑坡推力的分布形式^[11],锚固段的挤压变形也间接控制着滑坡推力分布形式的变化。

3 结 论

通过上述分析,悬臂式抗滑桩设计时应注意以下几个方面:(1)通常情况优先采用矩形截面抗滑桩,不仅可以减少工程用钢量,还可以增强支护效果。(2)合理的桩截面尺寸和桩间距不仅可以增强桩间岩土体的拱效应,同时有效降低工程圬工量。(3)抗滑桩锚固段岩土体强度对其内力和变形有较大的影响,应充分重视支护工程所处位置的工程地质条件,选取合理的设计地基抗力系数,必要时可采取某些措施以提高锚固段岩体强度。(4)嵌入深度会在一定程度上影响桩身的内力分布,增加嵌入深度可以有效的控制桩身的刚性转动,当嵌入深度达到一定值时,桩顶位移随嵌入深度的增长而趋于不变,对支护结构变形有严格要求时,可考虑其他支护形式,如锚索桩等。(5)同时锚固段岩体变形也间接影响桩背的滑坡推力的分部形式,对拱效应的空间分布特征也有一定的影响。

参考文献:

- [1] 铁道部第二勘测设计院. 抗滑桩设计与计算[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1983.
- [2] 戴自航, 彭振斌. 地基系数法在岩体抗滑桩内力计算中的应用[J]. 湖南大学学报, 2002, 29(1): 98-118.
DAI Zi-hang, PENG Zhen-bin. Application of foundation coefficient method in calculation of internal forces of stabilizing piles in rock mass[J]. Journal of Hunan University, 2002, 29(1): 98-118.
- [3] 肖武权, 阮波. 滑坡整治中抗滑桩的优化设计方法[J]. 中国铁道科学, 2006, 27(6): 7-11.
XIAO Wu-quan, RUAN Bo. Optimization design methods of the stabilizing Piles in landslide treatment[J]. China Rail Science, 2006, 27(6): 7-11.
- [4] 胡新丽, 李长冬, 王亮清. 抗滑桩截面经济优化设计探讨[J]. 地质科技情报, 2007, 26(3): 71-74.
HU Xin-li, LI Chang-dong, WANG Liang-qing. Economical optimum design on section dimension of Anti-sliding piles in landslide[J]. Geological Science and Technology Information, 2007, 26(3): 71-74.
- [5] 王乾坤. 抗滑桩的桩间土拱和临界间距的探讨[J]. 武汉理工大学学报, 2005, 27(8): 64-67.
WANG Qian-kun. Discussion on the soil arching effect and the critical spacing between adjacent anti-slide piles [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2005, 27(8): 64-67.
- [6] 周德培, 肖世国, 夏雄. 边坡工程中抗滑桩合理桩间距的探讨[J]. 岩土工程学报, 2004, 26(1): 132-135.
ZHOU De-pei, XIAO Shi-guo, XIA Xiong. Discussion on rational spacing between adjacent anti-slide piles in some cutting slope projects[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2004, 26(1): 132-135.
- [7] C.-Y. Chen, G. R. Martin. Soil-structure interaction for landslide stabilizing piles[J]. Computers and Geotechnics, 2002, 29(3): 363-386.
- [8] 吴汉辉. 埋入式抗滑桩模型试验及其工作机理研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2004.
- [9] 杨明, 姚令侃, 王广军. 抗滑桩宽度与桩间距对桩间土拱效应的影响研究[J]. 岩土工程学报, 2007, 29(10): 1477-1482.
YANG Ming, YAO Ling-kan, WANG Guang-jun. Study on effect of width and space of anti-slide piles on soil arching between piles[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2007, 29(10): 1477-1482.
- [10] Terzaghi K. Theoretical soil mechanics[M]. New York: John Wiley & Son, 1943.
- [11] 戴自航. 抗滑桩滑坡推力和桩前滑体抗力分布规律的研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(4): 517-521.
DAI Zi-hang. Study on distribution laws of landslide-thrust and resistance of sliding mass arching on anti-slide piles[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21(4): 517-521.

(编辑 王秀玲)